Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 16, No. 5, Dec- Jan 2021, p. 607-619

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 5، آذر - دی 1399، ص. 619-607

مقاله علمی- پژوهشی

بررسی کیفیت کیک بدون گلوتن تهیه شده از دانه ارزن تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی

مهران اعلمی[1]*- بهاره فتحی[2]

تاریخ دریافت: 1398/07/05
تاریخ پذیرش: 1398/10/03

چکیده

ارزن یکی از غلات مقاوم به خشکسالی، آفت و بیماری و دارای فصل رشد کوتاه است. دانه‌های ارزن فاقد گلوتن بوده و می‌تواند در تولید محصولات غذایی برای بیماران سلیاکی استفاده شود. با توجه به کیفیت پایین محصولات پخت حاصل از غلات بدون گلوتن می‌توان از افزودنی‌ها و تیمار فیزیکی آرد برای بهبود ویژگی‌های پخت استفاده نمود. از این رو در تحقیق حاضر از تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن به‌عنوان روشی برای اصلاح ویژگی‌های آرد استفاده شد. در این پژوهش، تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن پروسو با رطوبت 20، 25 و 30 درصد در دماهای 100 و 120 درجه سانتی‌گراد به مدت 3 ساعت بر روی ویژگی‌های مختلف خمیر (ثقل ویژه و ویسکوزیته) و کیک (حجم، رنگ، رطوبت و سفتی در طول نگهداری، ریزساختار) مورد ارزیابی قرار گرفت. افزایش دما و رطوبت تیمار به‌طور معنی‌داری در سطح اطمینان 95 درصد ویسکوزیته خمیر و همچنین تیرگی و قرمزی رنگ کیک را افزایش داد. نمونه‌های تیمار شده در رطوبت و دمای کمتر موجب افزایش حجم کیک نسبت به نمونه شاهد شدند در حالی که در نمونه‌های تیمار شده در رطوبت و دمای بالاتر، بهبودی در حجم کیک مشاهده نگردید. با این حال در روز پخت و در طول نگهداری، بهبودی در بافت و میزان رطوبت مغز کیک در اثر تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن ایجاد نگردید. بررسی ریزساختار کیک نشان داد که تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن موجب افزایش حفرات ریز و یکنواخت در بافت کیک گردید. بر اساس یافته‌های این پژوهش، تیمار حرارتی-رطوبتی ارزن می‌تواند روش مناسبی برای بهبود کیفیت کیک بدون گلوتن باشد.

واژه‌های کلیدی: دانه ارزن، تیمار حرارتی-رطوبتی، کیک، بدون گلوتن

مقدمه

ارزن یکی از مهم‌ترین محصولات مقاوم به خشکسالی و ششمین محصول غله بر اساس میزان تولید جهانی است. ارزن در مقایسه با غلات اصلی، مقاوم به آفت و بیماری، دارای فصل رشد کوتاه و قابلیت تولید در شرایط خشکسالی می‌باشد. با افزایش جمعیت جهان و کاهش منابع آب، این محصول کشاورزی برای استفاده انسان در آینده اهمیت زیادی پیدا می‌کند. دانه‌های ارزن فاقد گلوتن بوده و علاوه بر ارزش تغذیه‌ای‌شان دارای پتانسیل بهبود سلامت انسان از جمله جلوگیری از سرطان و بیماری‌های قلبی-عروقی، کاهش شیوع تومور، کاهش فشار خون، کلسترول و سرعت جذب چربی، و به تأخیر انداختن تخلیه معده می باشند. ارزن، پتانسیل قابل توجهی برای استفاده در منابع غذایی و نوشیدنی دارد و با توجه به افزایش تقاضای محصولات بدون گلوتن برای بیماران سلیاکی، می‌توان از آرد ارزن در تهیه این محصولات استفاده نمود (Taylor *et al*., 2006; Saleh *et al*., 2013).

کیفیت محصولات نانوایی بدون گلوتن (ساختار، احساس دهانی، قابلیت پذیرش و عمر ماندگاری) پایین‌تر از محصولات حاوی گلوتن است، از این رو تولید و بهبود کیفیت محصولات بدون گلوتن جدید یکی از چالش‌های مهم در صنعت غذا می‌باشد. استفاده از آرد یا نشاسته تیمار شده به روش‌های فیزیکی (برای مثال تیمار حرارتی-رطوبتی) یکی از راهکارهایی است که می‌تواند باعث بهبود کیفیت محصولات نانوایی بدون گلوتن شود (Gomez and Martinez, 2016). تیمار حرارتی-رطوبتی یک شیوه کم هزینه و ایمن برای اصلاح فیزیکی نشاسته می‌باشد. در این تیمار، آرد غلات یا گرانول‌های نشاسته با میزان رطوبت کم (معمولاً کمتر از 35%) در دماهای بالا (120-84 درجه سانتی‌گراد) به مدت مشخص (15 دقیقه تا 16 ساعت) حرارت داده می‌شوند (Zavareze and Dias, 2011). تیمار حرارتی-رطوبتی ساختار گرانولی نشاسته را تخریب نمی‌کند اما ساختار کریستالی، ویژگی‌های جذب آب، ویسکوزیته، رفتار ژلاتینه شدن و حساسیت آن به آنزیم‌ها و اسیدها را تغییر می‌دهد. بنابراین نشاسته تیمار شده به

1 و 2- به‌ترتیب دانشیار و فارغ التحصیل دکتری، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
(*- نویسنده مسئول: Email: mehranalami@gmail.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v16i5.83242

روش حرارتی-رطوبتی می‌تواند برای تولید محصولات مختلف به کار برده شود (Jacobs and Delcour, 1998).

تاکنون بسیاری از محققین تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی انواع نشاسته را بر روی ساختار و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن‌ها بررسی کرده‌اند (Zavareze and Dias, 2011). به دلیل هزینه بالا و مقدار زیاد نشاسته لازم برای تیمار حرارتی-رطوبتی، مطالعات کمی بر روی پتانسیل پخت آن‌ها صورت گرفته است (Miyazaki and Morita, 2005) حال آن که می‌توان این تیمار را بر روی آرد و یا خود دانه‌ها انجام داد (Gomez and Martinez, 2016). اخیراً نشاسته و آرد برنج و سورگوم به‌وسیله تیمار حرارتی-رطوبتی اصلاح شدند و مشخص شد که تیمار حرارتی-رطوبتی تأثیر بیشتری روی ویژگی‌های خمیری شدن و ویژگی‌های حرارتی آرد سورگوم و برنج نسبت به نشاسته داشت (Punch-arnon, Uttapap, 2013; Sun *et al*., 2014). ترکیبات آرد جدای از گرانول‌های نشاسته در طول تیمار حرارتی-رطوبتی متحمل تغییر می‌شوند و پروتئین‌ها نقش مهمی در تغییر ویژگی‌های نمونه آرد اصلاح شده بازی می‌کنند (Punch-arnon, Uttapap, 2013). Sun و همکاران (2013) با بررسی تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های برنج نتیجه گرفتند که می‌توان از این تیمار برای بهبود ویژگی‌های برنج تازه به جای نگهداری به مدت طولانی استفاده نمود. Vidya و همکاران (2013) غلات مختلف (برنج، سورگوم، ارزن انگشتی و ارزن مرواریدی) را به مدت 20 دقیقه بخار دهد و ویژگی‌های رئولوژیکی خمیرهای تهیه شده از آرد دانه‌های بخاردهی شده و خام و همچنین کیفیت پخت آن‌ها را ارزیابی نمودند. آن‌ها دریافتند که خمیرهای ارزن مرواریدی و سورگوم تیمار شده حرارتی و سپس نمونه‌های برنج و ارزن انگشتی تیمار شده خصوصیات خمیر مطلوب داشتند و از نظر بافت بسیار نزدیک به نان چاپاتی گندم بودند. در تحقیقات دیگری، برنج قهوه‌ای را بعد از جوانه زدن تحت تیمار حرارتی-رطوبتی قرار دادند و پس از تبدیل به آرد، تأثیر جایگزینی آرد گندم با آن را بر روی کیفیت نودل (Chung *et al*., 2012) و کوکی (Chung *et al*., 2014) بررسی کردند و دریافتند که این تیمار، بافت و کیفیت پخت نودل را بهبود داد. Chen و همکاران (2015) از تیمار حرارتی-رطوبتی به عنوان روشی برای تغییر ویژگی‌های آرد و نشاسته گندم استفاده کردند و تأثیر این تیمار را بر روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و هضم‌پذیری آرد و نشاسته گندم بررسی کردند و اظهار داشتند که نتایج تحقیق آن‌ها ممکن است پتانسیل کاربرد در تهیه نودل، کوکی و اسنک‌های با مقدار کمتر نشاسته‌های سریع الهضم داشته باشد.

با توجه به این که تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن صوت نگرفته است، در تحقیق حاضر تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن با رطوبت 20 تا 30 درصد در دماهای 100 و 120 درجه سانتی‌گراد به مدت مشخص بر روی پتانسیل استفاده از آرد حاصل از ارزن تیمار شده در پخت کیک بدون گلوتن و بهبود کیفیت آن مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

ارزن مورد استفاده در این تحقیق از نوع ارزن پروسو (*Panicum miliaceum* L.) بود و با استفاده از آسیاب سنگی پوست‌گیری شد. دانه‌های ارزن پوست‌گیری شده بعد از جدا کردن مواد زائد و خارجی، با آب شهری شسته شده و سپس در آون 45 درجه سانتی‌گراد به مدت 6 ساعت خشک شدند. شکر، روغن آفتابگرادن، تخم مرغ تازه، بیکینگ‌پودر و وانیل از فروشگاه‌های معتبر مواد غذایی تهیه شد.

تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن

پس از تعیین رطوبت اولیه آرد ارزن و محاسبه مقدار آب لازم برای تنظیم محتوی رطوبت آرد به 20، 25 یا 30 درصد با استفاده از موازنه جرم، مقدار کافی از آب مقطر به آرد ارزن اسپری شد و کاملاً مخلوط گردید. برای به تعادل رسیدن رطوبت، نمونه‌ها در کیسه‌های پلی‌اتیلنی در 4 درجه سانتی‌گراد به مدت یک شب نگهداری شدند. سپس دانه‌های مرطوب در ظروف شیشه‌ای درب‌دار ریخته شده و در آون هوای داغ (ممرت، UFP500، آلمان) در دماهای مختلف (100 یا 120 درجه سانتی‌گراد) به مدت 3 ساعت حرارت داده شدند. بعد از حرارت‌دهی، نمونه‌ها از ظروف خارج و در آون 40 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به رطوبت حدود 9 درصد خشک گردید. نمونه‌ها آسیاب شده و از الک با مش استاندارد 80 عبور داده شدند و سپس در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شدند (Punch-arnon, Uttapap, 2013).

تهیه کیک

کیک‌های پخته شده در این تحقیق از نوع نسبت پایین بوده و با استفاده از روش Bennion و Bamford (1997) با کمی تغییرات تهیه شدند. روغن آفتابگرادن (57 گرم) و شکر (72 گرم) با استفاده از همزن به مدت 3 دقیقه با سرعت کم و سپس 3 دقیقه با سرعت متوسط کاملاً مخلوط شد. تخم‌مرغ کامل (72 گرم) به تدریج به مخلوط اضافه و 2 دقیقه با سرعت کم و سپس 2 دقیقه با سرعت متوسط همزده شد. آرد ارزن (100 گرم) که با بیکینگ‌پودر (2 گرم) و وانیل (1 گرم) الک شده بود، به‌طور همزمان با آب به خمیر اضافه شد و 1 دقیقه با سرعت کم مخلوط گردید. خمیر کیک در قالب‌های پخت ریخته شده و کیک‌ها در آون 170 درجه سانتی‌گراد به مدت 30 دقیقه پخت شدند. بعد از پخت، کیک‌ها از قالب خارج شده و در دمای اتاق به مدت 1 ساعت خنک شدند. در نهایت کیک‌ها در کیسه‌های پلی اتیلنی بسته‌بندی شده و در 25 درجه سانتی‌گراد تا زمان آزمون نگهداری شدند. کیک تهیه شده از آرد ارزن تیمارنشده به‌عنوان نمونه شاهد استفاده شد. برای بررسی تأثیر

آرد حاصل از ارزن تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی بر روی خصوصیات خمیر و کیک بدون گلوتن، آرد ارزن خام با آرد ارزن تیمار شده جایگزین گردید.

آزمون‌های آرد و خمیر

درجه ژلاتینه شدن نشاسته

برای تعیین میزان رنگ آبی آمیلوز/ید، 0/2 گرم از نمونه آرد به 98 میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد، با 2 میلی‌لیتر محلول هیدروکسید پتاسیم 10 مولار تیمار شد و به مدت 5 دقیقه کاملاً مخلوط شد. سپس در 6000 دور در دقیقه به مدت 15 دقیقه سانتریفیوژ گردید. 1 میلی‌لیتر از سوپرناتانت برداشته شد و با 0/4 میلی‌لیتر اسید کلریدریک 0/5 مولار تیمار گردید و حجم آن با آب به 10 میلی‌لیتر رسانده شد. 0/1 میلی‌لیتر واکنشگر ید (1 گرم ید و 4 گرم یدید پتاسیم در 100 میلی‌لیتر آب) به آن اضافه شد و بعد از اختلاط، جذب در 600 نانومتر در مقابل بلانک واکنشگر در اسپکترفتومتر (پی جی، +T80، انگلستان) خوانده شد. این برآورد با استفاده از 95 میلی‌لیتر آب و 50 میلی‌لیتر محلول هیدروکسید پتاسیم 10 مولار، و 1 میلی‌لیتر اسید کلریدریک 0/5 مولار برای خنثی‌سازی تکرار شد. نسبت دو جذب به‌دست آمده از هر نمونه می‌تواند درجه ژلاتینه شدن را به‌دست آورد (Birch and Priestley, 1973).

ثقل ویژه

جهت اندازه‌گیری این کمیت حجم مشابهی از خمیر کیک و آب مقطر در یک درجه حرارت یکسان وزن گردید. با تقسیم وزن خمیر کیک به وزن آب مقطر، ثقل ویژه خمیر کیک محاسبه شد (Turabi *et al.*, 2008).

ویسکوزیته خمیر

ویسکوزیته خمیر کیک به وسیله ویسکومتر چرخشی (بروکفیلد، DV-II+pro، آمریکا) با استفاده از اسپیندل شماره S06 در سرعت برشی 20 دور در دقیقه اندازه‌گیری شد. خمیرها درست قبل از آزمون آماده شدند و آزمون در دمای 25 درجه سانتی‌گراد انجام گردید (Jyotsna *et al*., 2016).

آزمون‌های کیک

حجم

حجم کیک به روش جابجایی دانه‌های کلزا تعیین شد. در این روش ابتدا وزن حجم معینی از دانه‌های کلزا تعیین شد. با توجه به وزن و حجم دانه‌ها، دانسیته توده‌ای کلزا مشخص شد. سپس نمونه مورد نظر و دانه‌های کلزا با هم در یک ظرف با ابعاد مشخص قرار گرفته شده و توزین شد. در نهایت حجم کیک طبق رابطه زیر مشخص گردید (AACC, 2000).

$$\text{حجم} = \frac{\text{وزن ظرف پر از کلزا} - \{(\text{کیک} + \text{کلزا} + \text{وزن ظرف}) - (\text{کیک} + \text{وزن ظرف})\}}{\text{دانسیته کلزا}} \qquad (1)$$

رنگ پوسته و مغز کیک

برای تعیین پارامترهای رنگ کیک، رویه کیک به وسیله اسکنر (اچ پی، scanjet G3110، آمریکا) تصویربرداری شد. سپس کیک به‌صورت عمودی به دو بخش مساوی برش خورد و از هر دو نیمه برش خورده کیک تصویر تهیه شد. تصویربرداری کیک با وضوح 600 نقطه در اینچ انجام گردید. رنگ پوسته و مغز کیک با استفاده از تصاویر اسکن شده و نرم‌افزار Image J (نسخه 1.42e) ارزیابی شد. میزان روشنی (اندیس L^*)، سبزی-قرمزی (اندیس a*) و آبی-زردی (اندیس b*) برای پوسته و مغز هر یک از نمونه‌ها تعیین گردید (Sun, 2008).

میزان رطوبت

5 گرم از مغز کیک در ظرف فلزی مخصوص اندازه‌گیری رطوبت که از قبل به وزن ثابت رسیده و توزین شده بود، ریخته شد و در آون با دمای 105 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از رسیدن وزن نمونه به وزن ثابت، ظرف حاوی نمونه در دسیکاتور سرد و توزین شد. میزان رطوبت با استفاده از رابطه 2 محاسبه شد (AACC, 2000). اندازه‌گیری رطوبت کیک در روز پخت، سه و شش روز پس از پخت طی نگهداری اندازه‌گیری شد.

$$\text{درصد رطوبت} = \frac{(W1-W2)}{M} \times 100 \qquad (2)$$

W1: وزن اولیه نمونه و ظرف (گرم)

W2: وزن ظرف و نمونه پس از رسیدن به وزن ثابت (گرم)

M: وزن نمونه (گرم)

ارزیابی بافت کیک

ارزیابی بافت مغز کیک در روز پخت، روز سوم و ششم بعد از پخت با استفاده از آزمون آنالیز پروفایل بافت (TPA) به‌وسیله دستگاه بافت‌سنج (استیبل میکروسیستم، TA.XT.plus، انگلستان) با نرم‌افزار Texture Expert صورت گرفت. برای انجام این آزمون، ابتدا پوسته کیک جدا گردید و سپس یک قطعه مکعبی با ابعاد 20×20×20 میلی‌متر از بخش مرکزی مغز کیک برش داده شد. با استفاده از یک پروب استوانه‌ای آلومینیومی (قطر 30 میلی‌متر)، بافت مغز کیک به اندازه 10 میلی‌متر (50%) از فشرده شد. سرعت نیروی وارد شده حین آزمون، 2 میلی‌متر بر ثانیه و زمان تأخیر بین دو سیکل، 30 ثانیه و نقطه شروع

اعمال نیرو از سطح قطعه کیک بود. سفتی مغز کیک با استفاده از منحنی نیرو-زمان محاسبه شد (Lebesi and Tzia, 2012).

بررسی ریزساختار کیک

برای بررسی ریزساختار کیک، نمونه‌هایی از مرکز کیک قطعاتی به اندازه 10×10×10 میلی‌متر برش خورد، چربی‌گیری شد و سپس به‌وسیله خشک‌کن انجمادی خشک شدند. نمونه‌ها با لایه نازکی از طلا تحت خلأ پوشانده شده و با استفاده از نوار چسب دو طرفه برروی نگهدارنده نمونه میکروسکوپ الکترونی روبشی (هیتاچی، SU3500، ژاپن) ثابت شدند و در طول ریزنگاری از ولتاژ شتاب‌دهنده 3 کیلوولت استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش تأثیر دو فاکتور شامل رطوبت (در سه سطح 20، 25 و 30 درصد) و دمای (در دو سطح 100 و 120 درجه سانتی‌گراد) تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن بر ویژگی‌های خمیر و کیک حاصل از آن با استفاده از طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل بررسی گردید. سطوح متغیرها بعد از آزمایشات مقدماتی انتخاب شدند. کیک تهیه شده از 100 درصد آرد ارزن تیمار نشده به‌عنوان نمونه شاهد استفاده شد. برای بررسی نتایج از آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) در سطح α=0/05 استفاده شد و در صورت معنی‌دار بودن، آزمون مقایسه چندگانهDuncan به‌کار رفت. برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده شد.

نتایج و بحث

درجه ژلاتینه شدن نشاسته

تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن بر درجه ژلاتینه شدن نشاسته در جدول 1 نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود تیمار حرارتی-رطوبتی موجب افزایش قابل توجه درجه ژلاتینه شدن نشاسته گردید ($p<0/05$). آنالیز واریانس نشان داد که تأثیر فاکتورهای دما و رطوبت تیمار بر ژلاتینه شدن معنی‌دار بود و با افزایش دما و رطوبت، میزان ژلاتینه شدن در آرد ارزن تیمار شده نسبت به نمونه خام افزایش یافت. درجه ژلاتینه شدن و تورم نشاسته همراستا با میزان رطوبت است یعنی میزان رطوبت بالاتر موجب تورم بیشتر نشاسته می‌شود. اگر چه میزان آب آزاد احتمالاً مهم‌ترین فاکتور مؤثر بر تورم نشاسته است اما روند این واکنش به دما و زمان حرارت‌دهی در یک دمای مشخص نیز بستگی دارد (مارستون و همکاران، 1980). Vidya و همکاران (2013) گزارش کردند که درجه ژلاتینه شدن برای خمیرآرد تیمار شده به‌طور معنی‌داری بیشتر از خمیرآرد خام بود، که ممکن است این مقاومت برای نفوذ آب به داخل گرانول نشاسته خام به‌دلیل ساختار کریستالی آن باشد که اتصالات هیدروژنی در آن نقش مهمی بازی می‌کنند. تیمار هیدروترمال به تنهایی می‌تواند موجب ژلاتینه شدن نشاسته بیشتر در خمیر آرد دانه بخاردهی شده گردد. زمانی که دما در طول فرآیند تهیه خمیر بالا می‌رود این اتصالات هیدروژنی می‌تواند ضعیف شود و درنتیجه گرانول‌های نشاسته به دلیل جذب آب متورم شده و احتمالاً موجب ژلاتینه شدن بیشتر در خمیر تیمار حرارتی شده گردد. Punch-arnon و Uttapap (2013) نیز اظهار داشتند که ژلاتینه شدن جزئی در نمونه‌های تیمار شده در رطوبت بالا اتفاق می‌افتد.

ثقل ویژه خمیر

نتایج مربوط به ثقل ویژه خمیر کیک در جدول 1 ارائه شده است. ثقل ویژه خمیر یک فاکتور مؤثر بر کیفیت کیک است به‌طوری که ثقل ویژه کم‌تر، هوادهی بهتر خمیر کیک را نشان می‌دهد. ثقل ویژه کمتر می‌تواند با حباب‌های گاز بیشتر در خمیر خام مرتبط باشد که می‌تواند در طول پخت حباب‌های بزرگ‌تری تشکیل دهد و منجر به حجم بیشتر کیک گردد (Turabi *et al.*, 2008). با این حال در کنار ورود هوا به خمیر، نگهداشت هوا به‌وسیله خمیر در طول پخت که به ویسکوزیته مرتبط است نیز بر حجم نهایی کیک تأثیر می‌گذارد. داده‌های به‌دست آمده نشان داد که تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن، ثقل ویژه خمیر کیک را کاهش داد به‌طوری که ثقل ویژه خمیر آرد ارزن تیمار نشده بیشترین بود (1/050) در حالی که ثقل ویژه خمیر کیک آرد ارزن تیمار شده حرارتی-رطوبتی کمتر بود.

در دمای ثابت، با افزایش رطوبت تیمار از 20 به30 درصد، ثقل ویژه خمیر کاهش یافت. نمونه‌های تیمار شده در دماهای مختلف دارای ثقل ویژه کمتری نسبت به نمونه شاهد بودند اما این اختلاف تنها در دمای 100 درجه سانتی‌گراد و رطوبت 25 و 30 درصد معنی‌دار بود ($p<0/05$) و نمونه‌های تیمار شده در دمای 120 درجه سانتی‌گراد، ثقل ویژه بیشتری نسبت به نمونه‌های تیمار شده در دمای 100 درجه سانتی‌گراد داشتند. مطالعه Rajiv و همکاران (2011) نشان داد که ثقل ویژه خمیر با افزایش میزان آرد ارزن انگشتی در فرمولاسیون کاهش یافت. Marston و همکاران (2016) آرد سورگوم را در معرض تیمار حرارتی قرار دادند و کیفیت پخت کیک آن را ارزیابی نمودند. آن‌ها اظهار داشتند که افزایش دما و زمان تیمار حرارتی موجب کاهش ثقل ویژه خمیر گردید. کاهش ثقل ویژه خمیر پس از تیمار حرارتی-رطوبتی می‌تواند به دلیل ژلاتینه شدن گرانول‌های نشاسته و جذب آب بیشتر توسط آن‌ها و درنتیجه افزایش ویسکوزیته خمیر باشد که این افزایش ویسکوزیته موجب به دام افتادن و پایداری بیشتر حباب‌های هوا در خمیر گردیده و ثقل ویژه خمیر را کاهش می‌دهد.

جدول 1- درجه ژلاتینه شدن آرد، ثقل ویژه، ویسکوزیته خمیر و حجم کیک تهیه شده از ارزن خام و تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی

رطوبت (٪)	دما (°C)	درجه ژلاتینه شدن (٪)	ثقل ویژه خمیر	ویسکوزیته خمیر (cp)	حجم کیک (cm^3)
دانه تیمار نشده		$6/19\pm0/03^{d}$	$1/050\pm0/010^{a}$	8100 ± 100^{f}	$95/41\pm0/47^{b}$
20	100	$10/76\pm0/01^{cd}$	$1/036\pm0/005^{ab}$	8975 ± 425^{e}	$101/73\pm1/52^{a}$
	120	$16/43\pm0/04^{bc}$	$1/043\pm0/016^{ab}$	9025 ± 125^{e}	$100/19\pm0/71^{a}$
25	100	$21/05\pm0/03^{ab}$	$1/010\pm0/022^{b}$	10350 ± 150^{d}	$100/09\pm2/73^{a}$
	120	$23/88\pm0/03^{a}$	$1/041\pm0/003^{ab}$	16250 ± 50^{c}	$94/34\pm1/07^{b}$
30	100	$20/79\pm0/03^{ab}$	$1/009\pm0/021^{b}$	17650 ± 100^{b}	$94/62\pm1/15^{b}$
	120	$26/23\pm0/05^{a}$	$1/020\pm0/002^{ab}$	21325 ± 25^{a}	$89/33\pm1/07^{c}$

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان 95 درصد است.

ویسکوزیته خمیر

ویسکوزیته خمیر یکی از ویژگی‌های فیزیکی مهم در پخت کیک است. ویسکوزیته کم خمیر موجب کاهش حجم کیک می‌گردد زیرا خمیر نمی‌تواند حباب‌های هوای به دام افتاده را در داخل خود حفظ کند و زمانی که خمیر در آون قرار می‌گیرد این حباب‌ها به سمت بالا و سطح خمیر حرکت کرده و از کیک خارج می‌شوند (Delcour and Hoseney, 2010). با این حال یک خمیر بسیار ویسکوز نیز به دلیل انبساط محدود خمیر نمی‌تواند کیک با حجم بالا تولید کند. بنابراین ویسکوزیته خمیر بهینه و مناسب برای تولید کیک با حجم زیاد لازم می‌باشد (Gularte *et al*., 2012). همان‌طور که داده‌های ویسکوزیته خمیر در جدول 1 نشان می‌دهد تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن موجب افزایش قابل توجه ویسکوزیته خمیر گردید به طوری که کمترین میزان ویسکوزیته متعلق به نمونه شاهد (8100 سانتی‌پوآز) و بیشترین ویسکوزیته مربوط به نمونه تیمار شده در 30 درصد رطوبت و دمای 120 درجه سانتی‌گراد (21325 سانتی‌پوآز) بود ($p<0/05$). افزایش ویسکوزیته می‌تواند به دلیل جذب آب، قدرت تورم و ژلاتینه شدن بیشتر نشاسته و دناتوراسیون پروتئین در آرد تیمار شده حرارتی-رطوبتی باشد (Neil *et al*., 2012). Martinez و همکاران (2015) گزارش کردند که ضریب قوام خمیر نان گندم با افزایش درصد آرد اکسترود شده و شدت تیمار حرارتی افزایش یافت و به عبارت دیگر با افزایش شدت اکستروژن، خمیرها غلیظ‌تر و الاستیک‌تر شدند.

حجم کیک

حجم کیک یکی از خصوصیات کیفی مهم می‌باشد به‌طوری که کیک‌های با حجم بیشتر مقبولیت بیشتری از نظر مصرف‌کنندگان دارند. داده‌های حجم (متغیر از 89/33 تا 101/73 سانتی‌متر مکعب) نشان داد که تیمار حرارتی-رطوبتی ارزن، حجم کیک را به‌طور معنی‌داری ($p<0/05$) تغییر داد (جدول 1). نمونه‌های تیمار شده در رطوبت و دمای کمتر (رطوبت 20 درصد در هر دو دمای 100 و 120 درجه سانتی‌گراد و رطوبت 25 درصد در دمای 100 درجه سانتی‌گراد) موجب افزایش حجم کیک نسبت به نمونه شاهد شدند در حالی که در نمونه‌های تیمار شده در رطوبت و دمای بالاتر، بهبودی در حجم مشاهده نگردید. آرد ارزن تیمار شده در رطوبت 30 درصد و دمای 120 درجه سانتی‌گراد، حجم کیک را به طور معنی‌داری کاهش داد و این اثر ممکن است به دلیل ویسکوزیته بیش از حد خمیر باشد که از انبساط خمیر در آون جلوگیری می‌کند (Gularte *et al*., 2012).

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که دما و رطوبت تیمار حرارتی-رطوبتی بر حجم کیک تأثیر معنی‌دار دارند. اثر متقابل دما و رطوبت نیز معنی‌دار بود و نشان می‌دهد که تأثیر دما بر حجم کیک به میزان رطوبت بستگی دارد. با افزایش دمای تیمار حرارتی-رطوبتی در نمونه ارزن با رطوبت 20 درصد، حجم کیک حاصل تغییری نداشت. در مقابل، مشاهده شد که حجم کیک تهیه شده از آرد ارزن تیمار شده در 25 و 30 درصد رطوبت با افزایش دما کاهش نشان داد. Marston و همکاران (2016) تأثیر تیمار حرارتی بر پتانسیل پخت آرد سورگوم برای نان و کیک را بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند که حجم کیک با افزایش دما و زمان تیمار حرارتی به استثنای شرایط سخت حرارت‌دهی افزایش پیدا کرد و این نتیجه هم راستا با نتایج حاصله در این پژوهش بود. مطالعه‌ای که توسط Pongjaruvat و همکاران (2014) انجام شد نشان داد که افزودن نشاسته تاپیوکا پیش‌ژلاتینه تا مقدار 20 درصد به نان برنج بدون گلوتن حجم مخصوص را افزایش داد. Miyazaki و Morita (2005) آرد گندم را با 20 درصد نشاسته ذرت تیمار شده حرارتی-رطوبتی جایگزین کردند و ویژگی‌های خمیر و نان را ارزیابی نمودند. آن‌ها دریافتند که نشاسته تیمار شده حجم نان را به‌طور قابل توجهی کاهش داد که مغایر با نتایج مطالعه پیش رو می‌باشد. با این حال زمانی که شورتنینگ و آب بیشتر به این فرمولاسیون اضافه شد حجم نان تا حد زیادی بهبود یافت.

رنگ کیک

رنگ همراه با بافت و طعم خصوصیت مؤثری در پذیرش کیک‌ها می‌باشد. شاخص‌های رنگ (*L، *a و *b) برای مغز و پوسته کیک

به‌ترتیب در جدول 2 و 3 آورده شده است. افزایش دما در تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن موجب تیره‌تر شدن مغز کیک گردید به‌طوری که نمونه‌های تیمار شده در 120 درجه سانتی‌گراد دارای شاخص L کمتری نسبت به نمونه شاهد بودند. شاخص a رنگ مغز کیک نیز تحت تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی قرار گرفت و به‌ترتیب نمونه‌های تیمار شده در دمای 120 درجه سانتی‌گراد و سپس نمونه‌های تیمار شده در دمای 100 درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین میزان قرمزی نسبت به نمونه شاهد بودند. در مورد شاخص *b (زردی) مشاهده گردید که تیمار دانه‌های ارزن در 100 درجه سانتی‌گراد موجب کاهش زردی مغز کیک نسبت به نمونه شاهد شدند. زردی کیک تهیه شده از نمونه‌های تیمار شده در 120 درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت به استثنای نمونه تیمار شده در 30 درصد رطوبت و 120 درجه سانتی‌گراد که زردی بیشتری نسبت به نمونه شاهد داشتند. در مورد تأثیر رطوبت تیمار بر پارامترهای رنگ مغز کیک روند مشخصی مشاهده نگردید. کم رنگ‌تر بودن نمونه شاهد نسبت به نمونه تیمار شده احتمالاً به دلیل مقادیر بیشتر قندها و اسیدهای آمینه تولید شده در تیمار حرارتی شدید می‌باشد (Martinez *et al.*, 2013). پارامترهای رنگ پوسته کیک نیز تحت تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن قرار گرفتند. آرد ارزن تیمار شده حرارتی-رطوبتی منجر به افزایش تیرگی (میزان کمتر شاخص *L) و قرمزی (میزان بیشتر شاخص *a) در پوسته کیک گردید در حالی که موجب زردی کمتر (میزان کمتر شاخص *b) پوسته کیک شد ($p<0/05$). قرمزی و زردی پوسته کیک بیشتر از مغز کیک بود در حالی که روشنی آن نسبت به مغز کیک کمتر بود. این می‌تواند به دلیل واکنش‌های مایلارد و کاراملیزاسیون باشد که در طول پخت در پوسته اتفاق می‌افتد و بنابراین مواد رنگی حاصله پوسته را تیره می‌کنند اما رنگ مغز تحت تأثیر ترکیبات تشکیل‌دهنده فرمولاسیون قرار می‌گیرد (Majzoobi *et al.*, 2014).

جدول 2- پارامترهای رنگ مغز کیک تهیه شده از ارزن خام و تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی

رطوبت (٪)	دما (°C)	L*	a*	b*
دانه تیمار نشده		88/37±0/32a	-1/25±0/20 d	36/76±0/42 b
20	100	88/05±0/36 ab	0/10±0/23 c	34/84±0/14 c
	120	85/21±0/23 d	2/73±0/20 a	36/70±0/27 b
25	100	87/68±0/23 b	1/02±0/09 b	29/62±0/55e
	120	86/24±0/20 c	1/50±0/19 b	36/63±0/34 b
30	100	88/36±0/06 a	0/40±0/36 c	32/71±0/15 d
	120	85/98±0/27 c	2/24±0/75a	37/51±0/89 a

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان 95 درصد است.

جدول 3- پارامترهای رنگ پوسته کیک تهیه شده از ارزن خام و تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی

رطوبت (%)	دما (°C)	L*	a*	b*
دانه تیمار نشده		74/57±0/61a	14/01±0/68 b	45/17±0/73 a
20	100	67/13±1/28 b	19/30±1/98 a	44/34±1/62 a
	120	66/60±0/78 b	18/61±1/10 a	40/26±1/61 b
25	100	60/56±0/60 d	19/11±0/53 a	36/52±0/46c
	120	63/75±0/56 c	18/61±0/28 a	38/56±0/58 bc
30	100	63/70±0/55 c	19/57±0/45 a	38/07±1/63 bc
	120	64/48±0/42 c	18/14±0/35a	38/20±1/08 bc

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان 95 درصد است.

Jeong و همکاران (2013) گزارش کردند که افزایش مقدار آرد اکسترود شده شاخص *L کیک پوند را کاهش و شاخص *b را افزایش داد. در مطالعه Martinez و همکاران (2013) آنالیز رنگ پوسته نشان داد که پوسته نان حاوی آرد اکسترود شده در شرایط ملایم کم‌رنگ بود در حالی که پوسته نان حاوی آرد اکسترود شده در شرایط شدید به‌طور قابل توجهی قرمزتر یا زردتر بود. این احتمالاً به دلیل مقادیر بالاتر

قندها و اسیدهای آمینه تولید شده به‌وسیله تیمار حرارتی شدید می‌باشد. عمدتاً تیمار حرارتی-رطوبتی به دلیل واکنش میلارد موجب تغییر رنگ و طعم می‌شود که بایستی برای استفاده از آرد تیمار شده حرارتی-رطوبتی به دقت مورد توجه قرار گیرد (Chung *et al.*, 2012). مطالعات Chung و همکاران (2012 و 2014) نشان دادند که جایگزینی آرد گندم با آرد برنج قهوه‌ای جوانه زده تیمار شده حرارتی-رطوبتی در فرمولاسیون نودل و کلوچه منجر به کاهش *L و افزایش *a و *b گردید. این اثر تیره‌کنندگی هنگامی که زمان تیمار حرارتی-رطوبتی افزایش می‌یابد قابل توجه‌تر است. Marston و همکاران (2016) بیان داشتند که زمانی که دما و زمان تیمار حرارتی آرد سورگوم افزایش می‌یابد میزان روشنی مغز کیک کاهش می‌یابد. با این حال تنها بیشترین سطح تیمار (آرد سورگوم تیمار شده در 125 درجه سانتی‌گراد به مدت 45 دقیقه) کیکی با میزان روشنی کمتر از نظر آماری در مقایسه با نمونه شاهد تولید کرد.

سفتی مغز کیک

سفتی بافت یکی از شاخص‌های مهم مشتری‌پسندی محصولات صنایع پخت به‌خصوص نان و کیک می‌باشد. به‌طوری که هر چه میزان سفتی بافت محصول کم‌تر باشد، میزان رضایت مصرف‌کننده بیشتر است. سفتی به عنوان حداکثر نیروی لازم برای فشردن کیک تا یک میزان مشخص در یک سرعت مشخص اندازه‌گیری می‌شود. میزان سفتی نمونه‌های کیک در طول نگهداری در جدول 4 گزارش شده است.

جدول 4- سفتی کیک (بر حسب g) تهیه شده از ارزن خام و تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی

رطوبت (%)	دما (°C)	روز پخت (g)	روز سوم نگهداری (g)	روز ششم نگهداری (g)
دانه تیمار نشده		465±58^{Bb}	640±5^{Ad}	750±26^{Ac}
20	100	531±55^{Bb}	654±26^{Ad}	756±12^{Ac}
	120	476±55^{Bb}	805±71^{Abc}	935±24^{Ab}
25	100	530±40^{Bb}	751±68^{Acd}	794±64^{Ac}
	120	568±5^{Bb}	903±75^{Aab}	1101±114^{Aa}
30	100	470±20^{Cb}	707±8^{Bcd}	838±8^{Abc}
	120	716±17^{Ca}	965±43^{Ba}	1154±36^{Aa}

حروف کوچک متفاوت در هر ستون و حروف بزرگ متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان 95 درصد است.

نتایج سفتی در روز پخت نشان داد که تیمار حرارتی-رطوبتی به طور قابل توجهی بر بافت کیک تأثیر گذاشت. بر اساس نتایج آنالیز واریانس، تأثیر دما، رطوبت و اثر متقابل دما و رطوبت بر روی سفتی مغز کیک معنی‌دار بودند ($p<0/05$). تأثیر دما بر روی سفتی کیک به میزان رطوبت بستگی داشت. افزایش دما در تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن با 20 و 25 درصد رطوبت، سفتی کیک را تغییر نداد. با این حال، تأثیر افزایش دما بر روی بافت کیک در رطوبت 30 درصد معنی‌دار بود. استفاده از آرد ارزن تیمار شده در 30 درصد رطوبت در دمای 100 درجه سانتی‌گراد تغییر معناداری در سفتی کیک در مقایسه با نمونه شاهد ایجاد نکرد اما کیک‌های تهیه شده از آرد ارزن تیمار شده در 30 درصد رطوبت و 120 درجه سانتی‌گراد بافت فشرده‌تر و متراکم‌تری با بیشترین میزان سفتی را داشتند. مطابق با بررسی Lebesi و Tzia (2012) سفتی مغز کیک با حجم و تخلخل کیک مرتبط است به طوری که کیک‌های کوچک‌تر، بافت سفت و متراکم‌تری دارند. بر خلاف نتایج مطالعه حاضر، Marston و همکاران (2016) آرد سورگوم را در معرض تیمار حرارت خشک در دماهای 95 و 125 درجه سانتی‌گراد به مدت 15، 30 و 45 دقیقه قرار دادند و دریافتند که با افزایش زمان تیمار حرارتی، سفتی کیک کاهش یافت. آن‌ها اظهار داشتند که تیمار حرارتی موجب افزایش هوای وارد شده به خمیر در طول اختلاط و کاهش ثقل ویژه خمیر کیک و درنتیجه کاهش سفتی کیک می‌گردد. در کل تیمار حرارتی اثرات مثبتی بر روی کیفیت نان و کیک بدون گلوتن سورگوم داشت. سفتی نان و کیک تهیه شده از آرد سورگوم تیمار حرارتی شده کمتر از شاهد بود. در مطالعه Russo و Doe (1970) دمای بهینه تیمار حرارتی آرد برای بهبود عملکرد پخت در کیک‌های لایه‌ای 120 درجه سانتی‌گراد گزارش شد در حالی که زمان نگهداشت یک فاکتور بحرانی نبود. نتایج آن‌ها نشان داد که دماهای بسیار بالا اثر زیان‌آور بر روی بافت و طعم دارند.

در روز سوم پس از پخت، اثر دما و اثر رطوبت بر روی سفتی مغز کیک معنی‌دار بودند. نرمی کیک‌های ارزن تیمار شده در دمای 100 درجه سانتیگراد در همه رطوبت‌های مورد بررسی نسبت به نمونه شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند در حالی که کیک‌های ارزن تیمار شده در دمای 120 درجه سانتیگراد، سفتی بیشتری نسبت به نمونه شاهد داشتند. همچنین با افزایش میزان رطوبت، میزان سفتی کیک در نمونه‌های تیمار شده با افزایش مواجه شد. در روز ششم نگهداری نیز

نتایج مشابه روز سوم نگهداری به‌دست آمد. Miyazaki و Morita (2005) گزارش دادند که نان گندم حاوی 20 درصد نشاسته ذرت حرارتی-رطوبتی سفت‌تر از نان شاهد و نان حاوی نشاسته خام بود. در روز پخت، مغز نان حاوی نشاسته تیمار شده در دمای بالا سفت‌تر از نشاسته تیمار شده در دمای پایین بود اما بعد از یک روز نگهداری، سفتی نشاسته تیمار شده در دمای پایین از نشاسته تیمار شده در دمای بالا بیشتر شد. این نشان می‌دهد که فرآیند بیاتی نان حاوی نشاسته تیمار شده در دمای بالا متفاوت از نشاسته تیمار شده در دمای پایین است. Purhagen و همکاران (2011) دریافتند که میزان آب، سفتی و رتروگراداسیون آمیلوپکتین نان‌های حاوی آرد جو تیمار حرارتی شده متفاوت از نان شاهد بودند. نمونه‌های دارای نشاسته جو تیمار نشده و تیمار حرارتی شده و همچنین آرد جو تیمار حرارتی شده بعد از 7 روز نگهداری در مقایسه با نمونه شاهد سفتی کمتری داشتند.

نتایج آنالیز آماری نشان داد که تأثیر زمان نگهداری بر روی سفتی کیک برای تمامی نمونه‌ها معنی‌دار بود و با افزایش زمان نگهداری، سفتی مغز کیک افزایش یافت. با این حال، از روز سوم تا ششم پس از پخت، تغییر قابل توجهی در سفتی کیک مشاهده نشد. بیاتی یا سفت شدن بافت محصولات صنایع پخت در طول مدت زمان نگهداری، فرآیند پیچیده‌ای است که عوامل متعددی نظیر رتروگراداسیون آمیلوپکتین، آرایش مجدد پلیمرها در ناحیه آمورف، تشکیل کمپلکس بین نشاسته و پروتئین‌ها، کاهش مقدار رطوبت و یا توزیع مجدد آب بین ناحیه آمورف و کریستالی در آن دخیل است که به‌نظر می‌رسد علت اصلی بیاتی محصولات بدون گلوتن کاهش رطوبت و مهاجرت آسان‌تر آن از مغز به پوسته که در نتیجه عدم حضور گلوتن است می‌باشد (Ahlborn *et al.*, 2005). در پژوهش حاضر علی‌رغم تغییراتی که در ویژگی‌های دانه ارزن و درنتیجه آرد و خمیر آن به‌وجود آمد، تیمار حرارتی-رطوبتی نتوانست بیاتی کیک بدون گلوتن را به تأخیر بیاندازد. Neill و همکاران (2012) اظهار داشتند که آرد تیمار حرارتی شده به فرمولاسیون‌های نسبت بالا اجازه می‌دهد که محصولاتی با عمر ماندگاری بالاتر، بافت نرم‌تر، مغز مرطوب و مزه شیرین‌تر ایجاد کنند. مکانیسمی که تیمار حرارتی به وسیله آن آرد را بهبود می‌دهد کاملا شناخته شده نیست اما مشخص است که در طول فرآیند تیمار حرارتی غیرطبیعی شدن پروتئین و ژلاتینه شدن جزئی گرانول‌های نشاسته به علاوه افزایش ویسکوزیته خمیر اتفاق می‌افتد.

رطوبت مغز کیک

میزان رطوبت مغز کیک‌ها در روزهای مختلف نگهداری در جدول 5 نشان داده شده است. نتایج آنالیز آماری نشان داد که تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن تأثیر قابل توجهی بر میزان رطوبت مغز کیک در روز پخت نداشت.

جدول 5- رطوبت کیک تهیه شده از ارزن خام و تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی

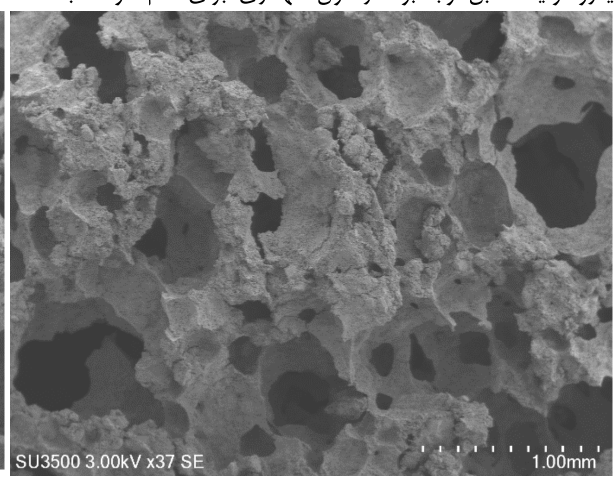
رطوبت (٪)	دما (°C)	روز پخت (٪)	روز سوم نگهداری (٪)	روز ششم نگهداری (٪)
دانه تیمار نشده		24/15±0/21 Aa	17/07±0/39 Ba	16/15±0/49 Bab
20	100	23/60±0/21 Aa	16/52±0/11 Ba	16/77±0/11 Bab
	120	22/65±0/92 Aab	16/43±0/46 Ba	15/75±1/34 Bab
25	100	23/82±0/04 Aa	18/47±1/87 Ba	16/52±0/11 Bab
	120	22/75±1/06 Aab	17/78±1/80 Ba	16/15±0/35 Bab
30	100	21/05±1/34 Ab	18/67±1/66 ABa	16/93±0/18 Ba
	120	22/73±0/67 Aab	17/57±1/31 Ba	15/48±0/11 Bb

حروف کوچک متفاوت در هر ستون و حروف بزرگ متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان 95 درصد است.

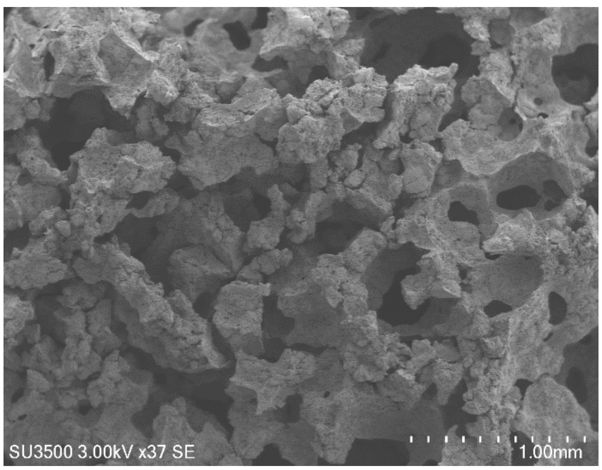
Seyhun و همکاران (2005) تأثیر انواع مختلف نشاسته را در به تأخیر انداختن بیاتی کیک پخته شده به روش مایکروویو بررسی کرده و گزارش کردند که نمونه‌های شاهد بیشترین افت رطوبت را در طول پخت داشتند و نشاسته پیش‌ژلاتینه مؤثرترین نشاسته در کاهش افت رطوبت بود. این نتیجه می‌تواند به‌وسیله ظرفیت نگهداشت بسیار بالای آب در نشاسته پیش‌ژلاتینه توضیح داده شود. با توجه به این که نشاسته‌های پیش‌ژلاتینه به‌طور قابل توجهی مقدار بیشتری آب را باند می‌کنند، توصیه می‌شود که برای نگهداشت آب در محصولات پخت استفاده شوند. بررسی مقادیر رطوبت مغز کیک نمونه‌های مختلف در روز سوم و ششم نگهداری نشان داد که هیچ اختلاف معنی‌داری بین نمونه شاهد و نمونه‌های تهیه شده از آرد ارزن تیمار شده وجود ندارد. این نتایج نشان می‌دهد که علاوه بر این که تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن، میزان رطوبت اولیه کیک را تغییر نداد، همچنین نتوانست تغییر قابل توجهی در سرعت کاهش رطوبت کیک ایجاد کند. نتایج آنالیز آماری نشان داد که تأثیر زمان نگهداری بر روی رطوبت کیک برای تمامی نمونه‌ها معنی‌دار بود و با افزایش زمان، رطوبت مغز کیک کاهش یافت. این تغییر تا روز سوم قابل توجه بود اما بعد از آن، علیرغم کاهش میزان رطوبت تا روز ششم، افت رطوبت قابل توجهی مشاهده

نگردید. یکی از پارامترهایی که در بیاتی کیک نقش مهمی دارد مهاجرت آب بین پوسته و مغز در طول نگهداری می‌باشد. در این مطالعه نیز همزمان با کاهش رطوبت مغز کیک، میزان رطوبت پوسته کیک افزایش یافت. این مهاجرت آب می‌تواند بخشی از سفت شدن بافت مغز در طول نگهداری را توضیح دهد (Hesso *et al*., 2014).

Gomez و همکاران (2007) پتانسیل هیدروکلوئیدهای مختلف (سدیم آلژینات، کاراگینان، پکتین، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، صمغ لوبیای لوکاست، صمغ گوار و صمغ زانتان) را در به تأخیر اندختن فرآیند بیاتی کیک لایه‌ای بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند که کیک های حاوی هیدروکلوئیدها (به استثنای هیدروکسی پروپیل متیل سلولز) افت رطوبت کمتری در طول پخت نسبت به نمونه شاهد داشتند و ظرفیت نگهداشت بالای آب در صمغ لوکاست نسبت به بقیه هیدروکلوئیدها قابل توجه بود. در طول نگهداری، برای تمام نمونه‌ها به استثنای صمغ لوکاست، میزان و سرعت افت رطوبت مشابه نمونه شاهد بود. فقط صمغ لوکاست کاهش قابل توجهی در سرعت افت رطوبت نشان داد و وزن آن بعد از روز دوم تقریباً ثابت بود که نشان‌دهنده ظرفیت نگهداشت بالاتر آب در طول نگهداری می‌باشد. Purhagen و همکاران (2011) از 3 درصد آرد و نشاسته جو به شکل تیمار نشده و تیمار حرارتی شده در فرمولاسیون نان گندم استفاده کردند. نشاسته و آرد جو پیش تیمار شده نگهداشت آب در طول نگهداری را نسبت به نمونه شاهد بهبود دادند. این اتفاق منجر به تفاوت زیاد در میزان آب بین نان‌های حاوی این افزودنی‌ها و نمونه شاهد در پایان مطالعه (روز هفتم) گردید. علاوه بر این، آرد پیش‌تیمار شده قادر بود که آب را بهتر از نشاسته مومی پیش‌تیمار شده نگهدارد، در حالی که هیچ اختلافی بین افزودنی‌های تیمار نشده نبود.



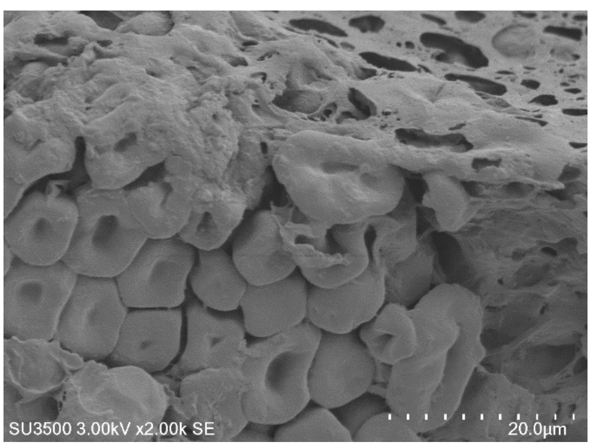
الف) کیک تهیه شده از دانه ارزن خام (بزرگنمایی 37×)



ب) کیک تهیه شده از دانه ارزن تیمار شده حرارتی-رطوبتی (بزرگنمایی 37×)



ج) کیک تهیه شده از دانه ارزن خام (بزرگنمایی 2000×)



د) کیک تهیه شده از دانه ارزن تیمار شده حرارتی-رطوبتی (بزرگنمایی 2000×)

شکل 1- تصاویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه‌های کیک بدون گلوتن ارزن

بررسی ریزساختار کیک

کیک تهیه شده از دانه ارزن تیمار شده در 25 درصد رطوبت و دمای 100 درجه سانتیگراد که پارامترهای کیفی خمیر و کیک آن نسبت به نمونه شاهد بهتر بود برای بررسی تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن بر ریزساختار کیک استفاده گردید. تصاویر 1-الف و 1-ب نشان می‌دهد که در نمونه کیک ارزن تیمار شده، سلول‌های هوای ریز و یکنواخت بیشتری نسبت به نمونه شاهد وجود دارد. طبق تحقیقات سایرین چنین تأثیری در ساختار کیک‌های بدون گلوتن پس از استفاده از صمغ نیز مشاهده شده است. Turabi و همکاران (2010) اظهار داشتند که نمونه شاهد دارای حفرات کوچک و بزرگ بود و توزیع آن‌ها یکنواخت نبود اما در کیک حاوی مخلوط زانتان-گوار، توزیع یکنواخت و همگن حفرات مشاهده گردید. شکل‌های 1-ج و 1-د نشان می‌دهد که در هر دو نمونه شاهد و تیمار شده، گرانول‌های نشاسته به شکل‌های مختلف دست نخورده، متورم و ژلاتینه شده در ماتریکس پروتئینی ناپیوسته و از هم گسیخته قرار گرفته‌اند اما میزان گرانول‌های ژلاتینه شده در نمونه کیک تهیه شده از ارزن تیمار شده حرارتی-رطوبتی به طور قابل توجهی بیشتر می‌باشد. Rajiv و همکاران (2011) دریافتند که در کیک تهیه شده از 100 درصد آرد گندم، ماتریکس گلوتن پیوسته است اما با افزایش جایگزینی آرد گندم با آرد ارزن انگشتی، پیوستگی ماتریکس پروتئینی کاهش یافته و به میزان بیشتری از هم‌گسیخته می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای غذاهای بدون افزودنی، به نظر می‌رسد تیمار فیزیکی دانه و آرد غلات مورد توجه قرار گیرد چون این تیمار، عملکرد نشاسته را بدون افزودن مواد خارجی تغییر می‌دهد. در همین راستا نتایج مطالعه حاضر، قابلیت تیمار حرارتی-رطوبتی در اصلاح عملکرد آرد ارزن برای کاربرد در فرمولاسیون‌های محصولات بدون گلوتن را با بهبود خصوصیات کیفی آن‌ها آشکار نمود. استفاده از آرد ارزن تیمار شده حرارتی-رطوبتی، ویسکوزیته خمیر و میزان ورود هوا به داخل خمیر را افزایش و ثقل ویژه آن را کاهش داد. تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن در رطوبت و دمای پایین موجب بهبود حجم کیک گردید. با این حال تیمار دانه ارزن نتوانست بهبودی در نرمی بافت و میزان رطوبت مغز کیک در روز پخت و طی نگهداری ایجاد کند. بررسی ریزساختار کیک نشان داد که تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن موجب افزایش سلول‌های هوای ریز و یکنواخت در ساختار کیک گردیده و همچنین گرانول‌های نشاسته به میزان بیشتری ژلاتینه می‌شوند. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، پارامترهای کیفی خمیر و کیک تهیه شده از دانه ارزن تیمار شده در 25 درصد رطوبت و دمای 100 درجه سانتیگراد نسبت به نمونه شاهد بهتر بود.

منابع

AACC. 2000. Approved Methods of the AACC, 10th ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.

Ahlborn, G. J., Pike, O. A., Hendrix, S. B, Hess, W. M., Huber, C. S. 2005. Sensory, mechanical and microscopic evaluation of staling in low protein and gluten free bread. *Cereal Chemistry*, 82: 328-335.

Bennion, E.B., Bamford, G.S.T. 1997. Cake-making process. In The technology of cake making. Sixth edition. pp. 251-274. *Springer Science+Business Media*. Dordrecht.

Birch, G. G., Priestley, R. J. 1973. Degree of gelatinization of cooked rice. Die Starke, 3: 98-100.

Chen, X., He, X., Fu, X., Huang, Q. 2015. In vitro digestion and physicochemical properties of wheat starch/flour modified by heat-moisture treatment. *Journal of Cereal Science*, 63: 109-115.

Chung, H. J., Cho, A., Lim, S. T. 2012. Effect of heat-moisture treatment for utilization of germinated brown rice in wheat noodle. *LWT- Food Science and Technology*, 47: 342-347.

Chung, H.J., Cho, A., Lim, S.T. 2014. Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rices in sugar-snap cookies. *LWT- Food Science and Technology*, 57: 260-266.

Delcour, J. A., Hoseney, R. C. 2010. Principles of cereal science and technology. Third edition. *AACCI press*. St. Paul, Minnesota.

Gomez, M., Martinez, M. 2016. Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods. *Journal of Cereal Science*, 67: 68-74.

Gomez, M., Ronda, F., Caballero, P. A., Blanco, C. A., Rosell, C. M. 2007. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids*, 21: 167-173.

Gularte, M. A., Gomez, M., Rosell, C. M. 2012. Impact of legume flours on quality and in vitro digestibility of starch and protein from gluten-free cakes. *Food and Bioprocess Technology*, 5(8): 3142-3150.

Hesso, N., Liosel, C., Chevallier, S., Le Bail, A. 2014. Impact of pregelatinised starches on the texture and staling of conventional and degassed pound cake. *Food Bioprocessing and Technology*, 7: 2923–2930.

Jacobs, H., Delcour, J.A. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 2895-2905.

Jeong, S., Kang, W. S., Shin, M. 2013. Improvement of the quality of gluten-free rice pound cake using extruded rice flour. *Food Science and Biotechnology*, 22: 173–180.

Jyotsna, R., Soumya, C., Swati, S., Prabhasankar, P. 2016. Rheology, texture, quality characteristics and immunochemical validation of millet based gluten-free muffins. *Food Measure*, 10: 762-772.

Lebesi, D., Tzia, C. 2012. Use of endoxylanase treated cereal brans for development of dietary fiber enriched cakes. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 13: 207-214.

Majzoobi, M., Habibi, F. G. M., Hedayati, S., Farahnaky, A. 2014. Influence of soy protein isolate on the quality of batter and sponge cake. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38: 1164–1170.

Marston, K., Khouryieh, H., Aramouni, F. 2016. Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. *LWT- Food Science and Technology*, 65: 637-644.

Martinez, M., Oliete, M., Gomez, M. 2013. Effect of the addition of extruded wheat flours on dough rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 57: 424–429.

Miyazaki, M., Morita, N. 2005. Effect of heat- moisture treated maize starch on the properties of dough and bread. *Food Research International*, 38: 369-376.

Neill, G., Al-Muhtaseb, A. H., Magee, T.R.A. 2012. Optimization of time/temperature treatment, for heat treated soft wheat flour. *Journal of Food engineering*, 113: 422-426.

Pongjaruvat, W., Methacanon, P., Seetapan, N., Fuongfuchat, A., Gamonpilas, C. 2014. Influence of pregelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jasmine rice breads. *Food Hydrocolloids*, 36: 143-150.

Punch-arnon, S., Uttapap, D. 2013. Rice starch vs. rice flour: differences in their properties when modified by heat-moisture treatment. *Carbohydrate Polymers*, 91: 85-91.

Purhagen, J. K., Sjoo, M. E., Eliasson, A. C. 2011. The use of normal and heat-treated barley flour and waxy barley starch as anti-staling agents in laboratory and industrial baking processes. *Journal of Food Engineering*, 104: 414-421.

Rajiv, J., Soumya, C., Indrani, D., Rao, G. V. 2011. Effect of replacement of wheat flour with finger millet flour (*Eleusine corcana*) on the batter microscopy, theology and quality characteristics of muffins. *Journal of Texture Studies*, 42: 478-489.

Russo, J. V., Doe, C. A. 1970. Heat treatment of flour as an alternative to chlorination. *International Journal of Food Science and Technology*, 5: 363-374.

Saleh A. S. M., Zhang, Q., Chen, J., Shen, Q. 2013. Millet grains: nutritional quality, processing, and potential health benefits. *Comperhensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12: 281-295.

Seyhun, N., Sumnu, G., Sahin, S. 2003. Effects of different emulsifier types, fat contents, and gum types on retardation of staling of microwave-baked cakes. Nahrung*/ Food*, 47: 248–251.

Sun, D. 2008. Computer vision technology for food quality evaluation. *Academic Press*, New York.

Sun, Q., Han, Z., Wang, L., Xiong, L. 2014. Physicochemical differences between sorghum starch and sorghum flour modified by heat-moisture treatment. *Food Chemistry*, 145: 756-764.

Sun, Q., Wang, T., Xiong, L., Zhao, Y. 2013. The effect of heat moisture treatment on physicochemical properties of early indica rice. *Food Chemistry*, 141: 853-857.

Taylor, J. R. N., Schober, T. J., Bean, S. R. 2006. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *Journal of Cereal Science*, 44: 252-271.

Turabi, E., Sumnu, G., Sahin, S. 2008. Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids*, 22: 305-312.

Vidya, S., Ravi, R., Bhattacharya, S. 2013. Effect of thermal treatment on selected cereals and millets flour doughs and their baking quality. *Food and Bioprocessing Technology*, 6: 1218-1227.

Zavareze, E.R., Dias, A.R.G. 2011. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, 82: 317-328.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 16, No. 5, Dec- Jan 2021, p. 607-619

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 5، آذر - دی 1399، ص. 619-607

Evaluation of quality of gluten-free cake prepared from heat-treated millet seeds

M. Aalami[1*], B. Fathi[2]

Received: 2019.09.27
Accepted: 2019.12.24

Introduction: Millet is one of the cereals resistant to drought, pest and disease and has a short growing season. As the world's population grows and water resources decline, this agricultural product will increasingly become- important for human use in the future. Millet is gluten-free grain and can be used to produce special food for celiac patients. Due to the low quality of baking products made from gluten-free cereals, additives and physical treatment of flour can be used to improve the baking properties. Therefore, in the present study, heat-moisture treatment of millet grains was used as a method to modify the flour properties.

Materials and Method: Proso millet (*Panicum miliaceum L.*) was dehulled using a stone mill and then moistened to 20, 25 or 30% of moisture by spraying sufficient distilled water, mixing and keeping in polyethylene bags at 4°C overnight. The moistened grains were poured into glass containers and heated in an oven at various temperatures (100 or 120 ° C) for 3 h. After heating, the samples were removed from the containers and dried at about 40°C until about 9% moisture content. The samples were then milled and passed from the screen with standard mesh 80. In this study, cakes were prepared from untreated and treated millet grain. The specific gravity of batter was measured by dividing the weight of a specific volume of batter to the weight of the similar volume of water. Batter viscosity was determined by Brookfield viscometer. Cake volume was measured by the rapeseed displacement method. Color of cake crumb and crust were determined by scanner and image J software. The oven method was used for measuring cake moisture. The hardness of cakes was evaluated by texture profile analyzer. For study of the microstructure of cakes, scanning electron microscope (Hitachi) was applied. In this study, the effects of two factors including moisture of heat-moisture treatment (at 3 different levels) and temperature of heating (at 2 different levels) on the batter and cakes properties were studied by a completely randomized design. Statistical analyses were done via analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range tests for significance at $p<0.05$ using SAS 9.1 software.

Results and discussion: The low specific gravity shows the better aeration of cake batter which can result in greater cake volume. Heat-moisture treatment of millet grains reduced the specific gravity of the cake batter so that the specific gravity of the untreated millet flour batter was the highest. The low batter viscosity reduces the cake volume because the batter cannot keep trapped air bubbles inside it and when the batter is placed in the oven, these bubbles move up to the surface of batter and they get out of the cake. However, a very viscous batter also cannot produce high volume cakes due to the limited expansion of the batter. Therefore, the optimum and appropriate viscosity of the batter is necessary for the production of large volume cakes. Heat-moisture treatment of millet grains significantly increased the viscosity of the batter ($p<0.05$) so that the lowest viscosity was in the control sample and the highest viscosity was in the treated sample at 30% moisture and 120°C. The samples treated at lower moisture and temperature had higher cake volume compared to the control sample, while the treated samples at higher moisture and temperature showed no improvement in volume. Millet flour treated at 30% moisture and 120°C significantly reduced cake volume ($p<0.05$) and this effect may be due to excessive viscosity of the batter which prevents the batter expansion in the oven. Increasing the treatment temperature and moisture significantly increased the darkness and redness of the cake color. However, at the baking day and during storage, there was no improvement in the texture and moisture content of the cake crumb after heat-moisture treatment of millet grains. The scanning electron micrographs of raw and treated millet cake showed that heat-moisture treatment of grains increased the uniform and fine cavities in the cake texture. Furthermore, in the cake prepared from treated millet, the gelatinized starch granules are found in the greater numbers.

The development of gluten-free bakery products has a growing market worldwide. Therefore, food industry specialists are looking for the production and improvement of the quality of these products. Due to the increasing consumer demand for non-additive foods, there is a growing interest in the physical treatment of cereals as it changes the starch performance without the addition of external ingredients. In this regard, the results of the present study revealed the ability of heat-moisture treatment to modify the performance of millet flour for application in gluten-free product formulations by

---

1. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran.
2. PhD Student, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran.
(*Corresponding Author Email: mehranalami@gmail.com)

improving their qualitative properties. Application of heat-moisture treated millet increased cake batter viscosity and air penetration and reduced its specific gravity. Heat-moisture treatment of millet grain at low moisture and temperature improved cake volume. However, the treatment of millet grains did not improve texture and moisture content of the cake during storage. Study of microstructure of the cakes showed that the heat-moisture treatment of millet grain increased the uniform and fine air cells in the cake structure and also the starch granules were more gelatinized. According to the results of this study, heat-moisture treatment of millet grains at 25% moisture and 100 ° C improved quality parameters of batter and cake compared with control.

Keywords: Millet grain, Heat-moisture treatment, Cake, Gluten-free